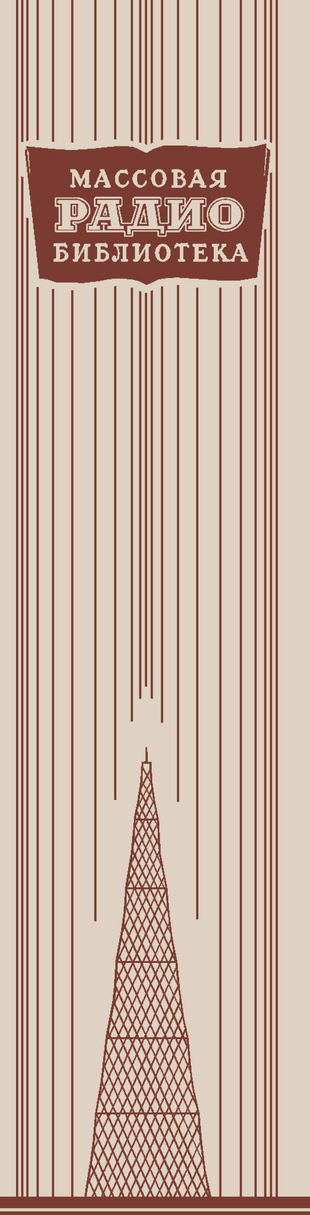


Г. В. СТЕПАНОВ

ВТОРИЧНАЯ ЭМИССИЯ В ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРАХ





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

К ЧИТАТЕЛЯМ

Выпуски Массовой радиобиблиотеки служат важному делу пропаганды радиотехнических знаний среди широких слоев населения нашей страны и способствуют развитию радиолюбительства. В свете этих задач большое значение имеет привлечение радиолюбительской общественности к критике каждой вышедшей книге и брошюры.

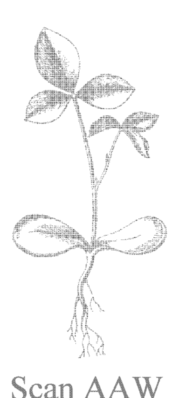
Редакция Массовой радиобиблиотеки обращается к читателям данной книги с просьбой прислать свои отзывы, пожелания и замечания вместе с краткими сообщениями о своем образовании, профессии, возрасте и радиолюбительском опыте по адресу: Москва, Шлюзовая набережная, д. 10 — Редакция Массовой радиобиблиотеки Госэнергоиздата.

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 332

Г. В. СТЕПАНОВ

ВТОРИЧНАЯ ЭМИССИЯ В ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРАХ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1959 ЛЕНИНГРАД

В брошюре рассматривается принцип работы электронных приборов с вторичной эмиссией, нашедших широкое применение в современных электронных и радиотехнических устройствах.

Брошюра рассчитана на подготовленных радиолюбителей.

Степанов Генрих Владимирович

ВТОРИЧНАЯ ЭМИССИЯ В ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРАХ

Редактор *И. Ф. Некрасова* Техн. редактор *Н И. Борунов*

Сдано в набор 14/II 1959 г. Подписано к печати 1/IV 1959 г.
Т-03953 Бумага $84 \times 108^1/_{32}$ 1,64 печ. л. Уч.-изд л 1,9.
Тираж 35 000 экз. Цена 75 коп. Заказ 105

Набрано в типографии Госэнергоиздата Москва, Шлюзовая наб., 10.
Отпечатано в тип Изд-ва МСХ РСФСР, Москва, Садово-Самотечная, 1. Зак. 829.

ВВЕДЕНИЕ

Когда поверхность твердого тела, помещенного в вакуум, подвергается бомбардировке электронами, то оказывается, что она испускает электроны или, как говорят, поверхность эмиттирует вторичные электроны (бомбардирующие электроны называются первичными). Это явление называется **вторичной электронной эмиссией**.

Во всех видах эмиссии (термоэлектронная, автоэлектронная, фотоэлектронная) из вещества эмиттируются электроны, которые в обычном состоянии покинуть его не могут. Этому мешает потенциальный барьер, действующий на границе вещество — вакуум. Это образное понятие отражает тот физический смысл, что электрон, выходя из электрически нейтрального вещества, заряжает его положительно и, следовательно, притягивается к нему. Если скорость электрона достаточно велика, чтобы преодолеть силу этого притяжения, то электрон выйдет в вакуум, если же нет, то останется в веществе. Скорость электронов в веществе определяется температурой вещества и является недостаточной для выхода в вакуум до температур 800—900° С почти для всех веществ. Только свыше этих температур для некоторых веществ начинается заметная эмиссия электронов.

Повысить энергию электронов вещества до величин, достаточных для выхода в вакуум, можно не только повышением температуры, но и другими методами. При вторичной электронной эмиссии это увеличение энергии происходит за счет передачи энергии от первичных электронов электронам вещества. Внутри вещества возникают при этом электроны с повышенными энергиями, однако для выхода в вакуум им предстоит еще долгий путь. Во-первых, они претерпевают соударения с электронами вещест-

ва и часть из них рассеивается в веществе, не имея направленного движения к поверхности. Во-вторых, возбужденные электроны вещества при каждом соударении теряют часть своей энергии и могут, пройдя длинный путь, прийти к поверхности с недостаточной для выхода в вакуум энергией. Поэтому лишь незначительная часть возникших возбужденных электронов вещества выходит в вакуум.

Предположим, что каждый возбужденный электрон получает энергию E_0 от первичного электрона. Если первичные электроны обладают энергией U_p, то число возбужденных электронов равно U_p/E_0 и увеличивается с ростом U_p. Это явление наблюдается в действительности, если рассматривать зависимость отношения σ тока вторичных электронов к току первичных как функцию от потенциала, ускоряющего первичные электроны.

Отношение токов σ представляет собой усредненное количество вторичных электронов, созданных одним первичным, является мерой вторичной электронной эмиссии и называется коэффициентом вторичной электронной эмиссии.

И простые рассуждения, и опыт показывают, что коэффициент вторичной эмиссии σ растет с энергией первичных электронов U_p. Однако рост коэффициента вторичной эмиссии происходит только до некоторого, для каждого вещества определенного значения $U_{макс}$, которому соответствует максимальное значение коэффициента вторичной эмиссии $\sigma_{макс}$.

Наблюдаемый спад величины σ обычно более медленный, чем рост σ до $\sigma_{макс}$. Уменьшение коэффициента вторичной эмиссии с увеличением энергии первичных электронов объясняется большой глубиной проникновения первичных электронов в вещество. С большой глубины возбужденные электроны выйти не могут, так как при этом они теряют так много энергии при столкновениях, что у поверхности оставшаяся у них энергия не достаточна для выхода в вакуум. Кроме того, известно, что число возбужденных электронов на одной и той же длине пути первичного электрона падает с ростом его энергии. Следовательно, общее число возбужденных электронов в приповерхностном слое, откуда они могут выйти, падает с ростом энергии первичных электронов. Оба эти эффекта приводят к спаду величины σ с ростом U_p. Типичная зависимость

коэффициента вторичной эмиссии от энергии первичных электронов представлена на рис. 1.

Для многих веществ коэффициент вторичной эмиссии $\sigma_{макс} > 1$, и в некоторых случаях может достигать нескольких десятков. Почти все металлы обладают величиной $\sigma_{макс} \approx 1$. Полупроводники и диэлектрики, а также сплавы обладают большими значениями $\sigma_{макс}$. Наиболее широкое распространение в технике получили кислородно-

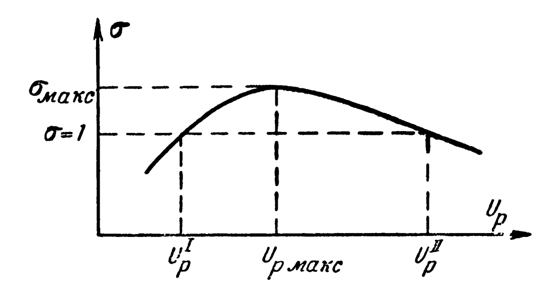


Рис. 1. Зависимость коэффициента вторичной электронной эмиссии от энергии первичных электронов.

магниевые и кислородно-цезиевые эмиттеры, а также эмиттеры на основе сплавов магния с медью и т. д.

Для всех веществ с $\sigma_{макс} > 1$ существуют два значения U_p обозначаемые U_p^{I} и U_p^{II}, где $\sigma = 1$. Как увидим в дальнейшем, эти две точки зависимости σ от U_p широко используются в электронных лампах, основанных на применении вторичной электронной эмиссии. Таких ламп уже много и они играют большую роль в современной технике.

Необходимо отметить, что в ряде случаев явление вторичной электронной эмиссии нежелательно в работе электронных ламп, и тогда его стремятся подавить. Для этого в лампах используют вещества с малым значением σ (известны, например, вещества с $\sigma_{макс} = 0{,}2$). Однако рассмотрение этих случаев не входит в задачу данной брошюры, так как основное внимание в ней уделяется вопросам, связанным с работой электронных ламп, использующих вторичную электронную эмиссию.

ЭЛЕКТРОННЫЕ УМНОЖИТЕЛИ

В процессе исследования вторично-эмиссионных свойств различных веществ было обнаружено, что (при определенных скоростях первичных электронов и для определенных веществ) число вылетающих вторичных электронов может в несколько раз превысить число приходящих первичных электронов. Умножение числа приходящих электронов происходит за счет электронов вещества. Используя это явление, оказалось возможным создать приборы для усиления слабых токов — *электронные умножители*.

Принципиальное действие умножителя состоит в том, что на металлическую пластину, покрытую тем или иным веществом, в вакууме падает поток электронов, ток которых можно выразить через i_1. Вещество испускает вторичные электроны, ток которых обозначим через i_2. Тогда коэффициент вторичной электронной эмиссии $\sigma = i_2/i_1$. Вторичные электроны с этой пластины можно ускорить и направить на другую пластину с тем же значением σ. Первичный ток для этой второй пластины будет i_2 или $i_1\sigma$, а вторичный станет $i_2\sigma$ или $i_1\sigma^2$. Направляя вторичные электроны со второй пластины на третью и повторяя этот процесс несколько раз, получим ток на n-й пластине (или, как говорят, на n-м каскаде) $i_n = i_1\sigma^n$. Если подобрать вещество с коэффициентом вторичной эмиссии большим единицы, то ток в умножителе будет нарастать по закону геометрической прогрессии, что видно из приведенной формулы.

Современные электронные умножители обладают большим коэффициентом усиления. Для получения наглядного представления об усилении в умножителе подсчитаем его коэффициент усиления. Если на каждом каскаде $\sigma = 4$ и если использовать 10 каскадов, то общее усиление умножителя составит $M = \sigma' = 4^{10} \approx 1\,000\,000$.

Особенно удобным и полезным оказалось использование электронных умножителей для усиления токов, возникающих с фотокатода при освещении его видимым или невидимым светом. Такая комбинация электронного умножителя с фотокатодом получила название *фотоумножителя*.

Фотоумножители ввиду своего большого усиления специально предназначены для измерения слабых световых потоков, падающих на фотокатод. Однако не следует думать, что, увеличивая число каскадов фотоумножителя,

можно измерить пренебрежимо малые световые потоки. Наименьшая освещенность, которую может отметить фотоумножитель, ограничена величиной темнового тока фотоумножителя, т. е. тока, протекающего через умножитель при неосвещенном фотокатоде. Существует несколько причин возникновения темнового тока, наиболее важ-

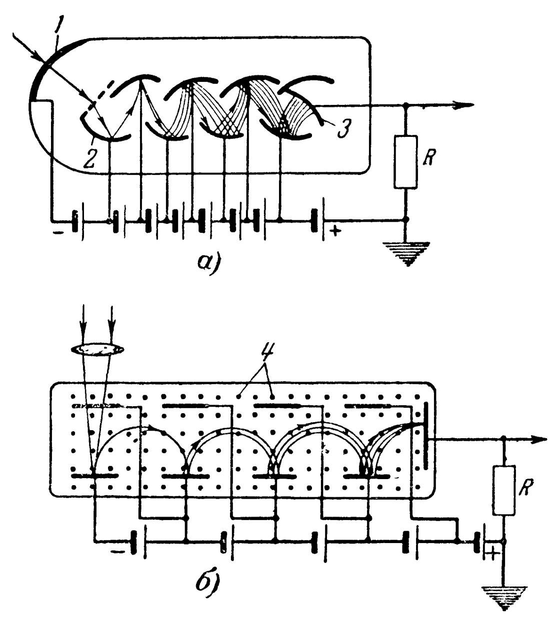


Рис. 2. Конструкции электронных умножителей.
а — с электростатической фокусировкой; *б* — с магнитной фокусировкой.
1 — фотокатод; *2* — первый анод; *3* — выходной анод; *4* — силовые линии магнитного поля, созданные внешним электромагнитом.

ной среди которых является термоэлектронная эмиссия фотокатода. К снижению термоэмиссии приводит охлаждение фотокатода, что иногда применяется при использовании фотоумножителей.

На рис. 2 приведены примеры конструкций электронных умножителей. Путь электронного потока указан стрелками. Для уменьшения потери числа электронов при переходе от одного каскада к другому в электронных умножителях используется фокусировка электронного потока. Фокусирующее устройство может использовать как магнитное, так и электростатическое поле. При использо-

вании электростатического поля фокусировка электронов может быть обеспечена подбором специальной формы электродов (рис. 2,*а*). Магнитное поле искривляет траектории электронов (рис. 2,*б*) и заставляет их, практически не рассеиваясь, переходить на следующий электрод. Переход вторичных электронов от одного каскада к другому осуществляется за счет электрического поля между ними, для чего каждый последующий каскад устанавливается под положительным потенциалом к предыдущему. Этим потенциалом определяется энергия, с которой приходят электроны на следующий электрод.

В настоящий момент нет ни одной области науки и техники, где бы фотоумножители не нашли себе применения. В астрономии, например, фотоумножители широко используются при изучении спектра Солнца, где возможность применения простейшей аппаратуры ввиду наличия больших световых потоков исключена вследствие их большой неточности. Применение фотоумножителей позволило наблюдать быстрые изменения светового потока, вызванные извержениями Солнца, на фоне гораздо более сильного постоянного светового потока от Солнца. Способность регистрировать и измерять весьма малые световые потоки, т. е. большая чувствительность и точность фотоумножителей, сделала их ценным прибором при исследовании звезд. С помощью их же производится изучение инфракрасного излучения ночного неба, свечения полярных сияний и т. д.

Огромную роль играют фотоумножители в ядерной физике при обнаружении заряженных частиц (электронов, протонов, α-частиц). При этом используется хорошо известное явление возникновения вспышек (сцинтилляций) на флюоресцирующих веществах при бомбардировке их этими частицами. Раньше сцинтилляции наблюдали и подсчитывали визуально, причем скорость счета и точность были, естественно, невелики. С изобретением ионизационных счетчиков (счетчик Гейгера — Мюллера), основанных на возникновении газового разряда при попадании частицы в счетчик, от этого метода отказались. Однако к старому методу подсчета сцинтилляций вернулись после использования комбинации сцинтиллирующего экрана или кристалла с фотоумножителем. Такая комбинация получила название сцинтилляционного счетчика. Для сцинтилляционных счетчиков разработаны специальные фотоумножители с фотокатодами больших размеров. Катод поме-

щался в непосредственной близости от возбуждаемого флюоресцирующего кристалла.

Счетчик сцинтилляций обладает большими преимуществами по сравнению со счетчиком Гейгера — Мюллера. В сцинтилляционном счетчике высота импульса тока на выходе фотоумножителя дает некоторые сведения относительно энергии бомбардирующих частиц, а, кроме того, скорость счета (около 10^{-8} *сек*) значительно больше, чем у счетчика Гейгера — Мюллера. Поэтому фотоумножитель целесообразнее использовать в комбинации с флюоресцирующим кристаллом с весьма коротким временем послесвечения.

Интересной областью использования электронных умножителей являются преобразователи изображений, где изображение с фотокатода переносится на флюоресцирующий экран посредством электронно-оптических линз. В качестве примера такой системы рассмотрим работу так называемого телескопического прицела. В нем используется фотокатод, чувствительный в невидимой, инфракрасной части светового спектра. При облучении катода инфракрасными лучами он испускает электроны, причем число этих электронов больше там, где была бо́льшая яркость лучей. Возникает как бы электронное изображение, которое, усиливаясь без искажения в умножителе и проходя ряд электронных линз, попадает на флюоресцирующий экран. Фосфор этого экрана подбирается такой, чтобы он светился в видимой части светового спектра. Таким образом, невидимые объекты (например, ночью), освещенные невидимыми инфракрасными лучами, становятся видимыми на экране телескопического прицела.

Современные фотоумножители, выпускаемые отечественной промышленностью, имеют электростатическую фокусировку вторично-эмиссионных потоков, 8—13 каскадов усиления, напряжения коллектора от 700 до 2 600 *в*, выходной ток порядка 100—200 *мка* и чувствительность в среднем в пределе от 1 до 1 000 *а/лм*.

Большое количество различных типов фотоумножителей позволяет широко применять их также в звуковом кино, фототелеграфии, где используется модулированный свет, и в спектральном анализе.

Существуют системы, где электронный умножитель используется не с фотокатодом, а с вторично-эмиттирующим катодом. Такие системы используются как для регистрации частиц или фотонов большой энергии, так и для

усиления электронных потоков в телевизионных трубках (см. стр. 16, 21 и 25).

Первые электронные умножители были созданы в СССР Л. А. Кубецким, П. В. Тимофеевым и С. А. Векшинским (1930—1936 гг.), а также в США Зворыкиным (1936 г.).

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫЕ ТРУБКИ, ТРУБКИ ДЛЯ ПРИЕМА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Первые электронно-лучевые трубки появились в 1897 г., а в 1907 г. Б. Л. Розингом, преподавателем Петербургского технологического института, получен первый патент на применение электронно-лучевой трубки в теле-

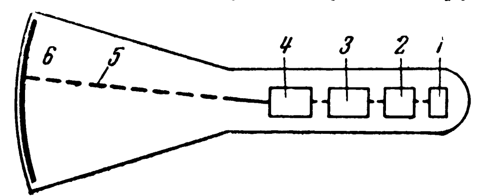


Рис. 3. Схема электронно-лучевой трубки.

1 — катод; *2* — управляющий электрод; *3* — аноды; *4* — отклоняющие устройства; *5* — электронный пучок; *6* — экран.

видении. Созданная им в 1911 г. трубка была далеко не совершенна, но использование электронного пучка послужило тем толчком, в результате которого мы теперь обладаем большим классом совершенных электронно-лучевых приборов, без которых немыслимы отдельные отрасли техники, в частности телевидение.

Рассмотрим работу современной трубки, используемой для приема изображений. Упрощенная схема такой трубки приведена на рис. 3. Трубка представляет собой узкую стеклянную трубу, расширяющуюся на конус и заканчивающуюся плоской или слегка выпуклой торцовой стеклянной поверхностью. В узкой части трубки — горловине расположен электронный прожектор, называемый иногда электронной пушкой. Он состоит из источника электронов катода (обычно оксидного), управляющего электрода, фокусирующих и отклоняющих электродов. Целью электронного прожектора является создание тонкого пучка электронов, который мог бы по желанию перемещаться в определенных пределах. Фокусирующими и отклоняю-

щими системами могут являться как электростатические, так и магнитные системы.

На широкую торцовую часть трубки (экран) наносится слой вещества, обладающего способностью ярко светиться под ударами электронов. Такие вещества называются люминофорами (или, точнее, катодолюминофорами). Большую роль в исследовании свойств люминофоров, а следовательно, и электронно-лучевых трубок сыграли работы А. В. Москвина и К. М. Янчевского. В приемных телевизионных электронно-лучевых трубках применяются люминофоры, дающие белое свечение, которое спадает после ухода луча за время, меньшее, чем длительность передачи одного кадра. Примером таких люминофоров являются сульфиды и сульфид-селениды цинка и кадмия. Эти вещества позволяют получить «белый» цвет свечения.

Применяемые в электронно-лучевых трубках люминофоры являются диэлектриками, поэтому электроны, бомбардирующие экран, не могут стекать по его поверхности. Уход электронов с поверхности экрана происходит за счет вторичной электронной эмиссии люминофора, нанесенного на поверхность экрана. Рассмотрим этот вопрос более подробно. Выберем люминофор с коэффициентом вторичной эмиссии $\sigma_{макс} > 1$ и будем бомбардировать экран электронами с энергией $U_p > U_{p\,макс}$. Тогда, если потенциал анода (металлическое покрытие конусообразной части трубки) U_a больше потенциала поверхности экрана, то с экрана на анод уходит большее число электронов, чем приходит из электронного пучка. Поверхность экрана начнет заряжаться положительно, а его потенциал повышаться. Повышение потенциала экрана происходит до тех пор, пока он немного не превысит потенциал анода. Дальнейшего повышения потенциала экрана не произойдет, так как при этом исчезает ускоряющее электрическое поле между экраном и анодом, и поверхность экрана разряжается возвратившимися вторичными электронами до потенциала анода. Следовательно, равновесным потенциалом поверхности экрана является потенциал анода, а количество приходящих электронов у электронного пучка равно количеству вторичных электронов, уходящих на анод.

Яркость свечения люминофоров зависит от энергии бомбардирующих электронов и увеличивается с ростом этой энергии. Казалось бы, повышая потенциал анода электронно-лучевой трубки, а следовательно, и равновес-

ный потенциал поверхности экрана, можно получить трубки с очень ярким свечением экрана. Однако это не так.

Предел повышения потенциала экрана ограничен вследствие наступления разложения люминофора. Но еще задолго до наступления этого предела вступает в действие другой предел. Оказывается, что как бы мы ни увеличивали потенциал анода $U_а$, максимальным потенциалом поверхности люминофора является значение U_p^{II}, где $\sigma = 1$ (см. рис. 1). Рассмотрим этот случай.

Положим, что $U_а > U_p^{II}$. Если потенциал поверхности экрана меньше U_p^{II} где $\sigma > 1$, то существует электрическое поле между экраном и анодом, отводящее все вторичные электроды на анод, и потенциал поверхности экрана повышается до U_p^{II}. При этом $\sigma = 1$, т. е. сколько электронов приходит из электронного пучка, столько же их и уходит на анод (заряд на поверхности экрана не накапливается и потенциал поверхности не изменяется). Предположим теперь, что потенциал поверхности экрана был больше U_p^{II} (где $\sigma < 1$), но меньше $U_а$. Тогда, несмотря на наличие ускоряющего вторичные электроны электрического поля между экраном и анодом, с экрана уйдет меньшее число электронов, чем их приходит из электронного пучка, так как $\sigma < 1$, и поверхность люминофора начнет заряжаться отрицательно. Потенциал поверхности экрана понизится до потенциала, равного U_p^{II}.

Таким образом, предельная яркость экрана определяется значением U_p^{II}, которое является физической константой люминофора.

Иногда необходимо иметь очень яркие изображения, например в телевизионных приемниках с проектированием изображения на большой экран. Для этого необходимы большие энергии бомбардирующих экран электронов. Как этого добиться?

В последние годы мощные проекционные трубки и трубки с большим диаметром экрана, рассчитанные на высокие напряжения, стали делать с люминофорами, поверхность которых со стороны электронного пучка покрывается тонкой пленкой металла — зеркалом. Металлическая пленка определяет потенциал люминофора, а электроны с большими энергиями легко проходят сквозь нее и

возбуждают люминофор. Обычно для этих целей используется тонкая пленка алюминия.

Кроме эффекта увеличения яркости изображения, алюминиевое зеркало имеет еще ряд положительных качеств. Во-первых, увеличивается (в 2 раза) светоотдача люминофора, так как зеркало отражает свет люминесценции. Во-вторых, становится не обязательным иметь люминофор с $\sigma > 1$, так как потенциал люминофора стал определяться потенциалом алюминиевого зеркала. Далее, металлическая пленка, пропуская электроны, не пропускает отрицательные ионы (которые образуются в трубке) вследствие их малой скорости и больших размеров, т. е. предохраняет трубку от появления ионного пятна, связанного с разложением люминофора под действием бомбардировки ионами. Использование больших напряжений приводит к лучшей фокусировке луча, а отсутствие отраженного света внутри трубки — к повышению контрастности изображения.

Применение алюминиевого зеркала рационально только в трубках с высоким напряжением, ибо при малых напряжениях в нем теряется значительная часть энергии электронов луча и возбуждение люминофора оказывается слабым.

ПЕРЕДАЮЩИЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ТРУБКИ

Широко используется вторичная электронная эмиссия и в передающих телевизионных трубках, основная цель которых состоит в разложении и записи оптического изображения в виде электрических сигналов.

Передающая телевизионная трубка со светочувствительной мозаикой (иконоскоп). В этой трубке используется принцип накопления зарядов на мозаике. Трубка (рис. 4) состоит из электронного прожектора и фоточувствительной мозаики. Прожектор устанавливается под углом порядка 30° к оптической оси трубки, перпендикулярной мозаике. Вызвано это тем обстоятельством, что иначе бы прожектор находился на пути световых лучей и загораживал мозаику. Электронный луч развертывается при помощи отклоняющих катушек и образует растр на мозаике.

Мозаика представляет собой большое число маленьких фоточувствительных зерен серебра, расположенных на слюдяной пластине и изолированных друг от друга. Слю-

дяная пластина покрыта сзади тонким металлическим слоем, который образует «сигнальную пластину». Мозаику окружает коллектор фотоэлектронов и вторичных электронов, вылетающих с мозаики. Коллектором в иконоскопе служит внутреннее металлическое покрытие баллона трубки.

Потенциал мозаики в иконоскопе выбирается порядка 700—1 000 *в* относительно катода электронного прожектора. При этом коэффициент вторичной эмиссии мозаики

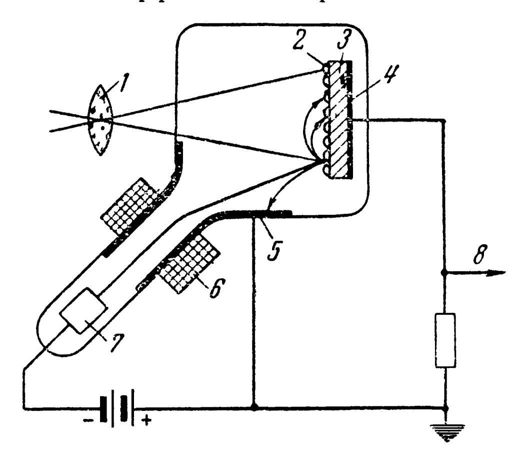


Рис. 4. Схема передающей телевизионной трубки со светочувствительной мозаикой (иконоскоп).

1 — объектив; *2* — фоточувствительная мозаика; *3* — слюда; *4* — сигнальная пластина, *5* — коллектор; *6* — отклоняющие катушки: *7* — электронный прожектор; *8* — к усилителю.

больше единицы, и, как мы уже выяснили, потенциал мозаики под электронным пучком близок к потенциалу коллектора. При попадании электронного пучка на соседний элемент мозаики вторичные электроны с него частично попадают на только что пройденный элемент и понижают его потенциал. Таким образом, к следующему приходу электронного пучка каждый элемент мозаики понижает свой потенциал на некоторую определенную величину.

Когда же передаваемый объект проектируется через стекло колбы на мозаику иконоскопа, то с каждого фоточувствительного элемента мозаики уходят фотоэлектроны, и потенциал освещенных элементов повышается. Конечный потенциал элемента определяется динамическим рав-

новесием между уходом фотоэлектронов и приходом вторичных электронов с соседних элементов. Количество уходящих фотоэлектронов пропорционально освещенности элемента, так что на мозаике создается потенциальный рельеф, соответствующий распределению освещенности по передаваемому объекту. Потенциал освещенного элемента мозаики оказывается выше потенциала неосвещенного. При коммутации (т. е. попадании) электронным пучком освещенного элемента мозаики ток на коллекторе получается небольшим, так как потенциал освещенного элемента близок к потенциалу коллектора. При коммутации же неосвещенного элемента, потенциал которого значительно ниже потенциала коллектора, чем в случае освещенного элемента, ток на коллекторе становится бóльшим. Таким образом, электронный пучок, пробегая по всей мозаике, создает в цепи коллектор — сигнальная пластина импульсы тока, представляющие собой электрическое разложение передаваемого объекта.

Мы проследили, как происходит переход изображения передаваемого объекта в электрические сигналы и какую роль играет в этом процессе вторичная эмиссия. Однако вторичная электронная эмиссия наравне со своими положительными свойствами в иконоскопе создает также ряд неприятных для телевизионных передач явлений.

Так как потенциал мозаики стабилизируется в иконоскопе при потенциале анода, то поле между ними оказывается недостаточным для отбора всего тока фотоэлектронов. Большая часть фотоэлектронов, образуемых при облучении мозаики светом, не может преодолеть тормозящего действия пространственного заряда между мозаикой и анодом и возвращается обратно на мозаику. Это приводит к снижению глубины потенциального рельефа, а следовательно, и величины полезного сигнала трубки, что снижает ее чувствительность.

То же происходит с вторичными электронами, возникшими при коммутации мозаики электронным пучком. Коммутация имеет своей целью создание тока сигнала путем поочередного разряда элементов мозаики. Однако не весь ток вторичных электронов попадает на анод, так как часть электронов под действием пространственного заряда между мозаикой и анодом возвращается на другие элементы мозаики. На анод попадает лишь в среднем $1/\sigma$ часть тока вторичных электронов и, следовательно, в 3—4 раза уменьшается изменение тока вторичных электронов

на анод, т. е. в 3—4 раза уменьшается полезный сигнал.

Вследствие всех этих причин чувствительность иконоскопа составляет лишь 3—6% от той, которая должна иметь место при идеальном использовании принципа накопления заряда.

Кроме того, уровень неосвещенных элементов на потенциальном рельефе мозаики не везде одинаков. Отдельные элементы мозаики расположены неодинаково к аноду и коммутирующему лучу. Вследствие этого пространственный заряд оказывается неравномерным над поверхностью мозаики, и его плотность получается выше в середине. Выбиваемые из мозаики вторичные электроны при возвращении на ее поверхность распределяются по ней неравномерно, и наибольшее количество возвращающихся электронов попадает на центральную часть мозаики.

К моменту коммутации в центральной части мозаики происходит наибольшее снижение ее потенциала и, следовательно, снижение яркости передаваемого изображения. Это приводит к появлению на экране приемной телевизионной трубки большого черного пятна в центре.

Эффект «черного пятна» является крупнейшим недостатком иконоскопа. Для его устранения приходится применять специальные, довольно громоздкие компенсирующие импульсные схемы, которые создают сигнал, воспроизводящий на экране приемной трубки белое пятно той же интенсивности и тех же размеров. Однако и в этом случае не удается полностью компенсировать черное пятно, так как форма последнего различна для разных иконоскопов и, кроме того, зависит от уровня освещенности и т. д.

К другим недостаткам иконоскопа надо отнести трапецеидальные искажения передаваемого изображения. Эти искажения возникают вследствие расположения прожектора под углом примерно 30° к поверхности мозаики.

Появление электронных умножителей привело к усовершенствованию иконоскопа. В 1934 г. Л. А. Кубецким было предложено ввести в иконоскоп вторично-электронный умножитель для усиления тока коллектора, содержащего сигнал изображения. Умножитель был помещен внутри трубки. Под действием электрического поля между мозаикой и первым эмиттером умножителя на вход его попадает часть электронов с мозаики. Сигнал усиливается умножителем и далее подается на вход лампового усилителя.

Такая трубка обладает большей чувствительностью по сравнению с обычным иконоскопом. Однако в ней весьма плохо используются преимущества электронного умножителя вследствие трудности создания такого электрического поля, которое бы, с одной стороны, равномерно передавало в умножитель значительную часть вторичных электронов с мозаики, а с другой стороны, не влияло на нормальную работу иконоскопа.

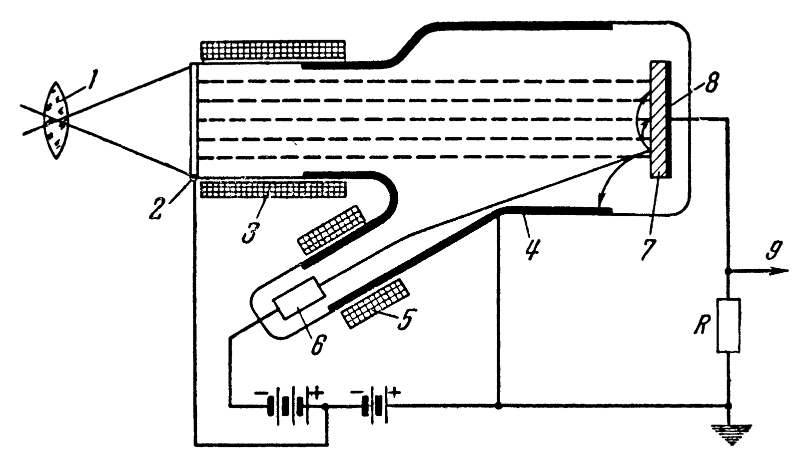


Рис. 5. Схема передающей телевизионной трубки с переносом изображения, односторонней мишенью и разверткой пучком быстрых электронов (иконоскоп с переносом изображения).

1 — объектив; 2 — полупрозрачный фотокатод; 3 — фокусирующая катушка; 4 — коллектор; 5 — отклоняющая катушка; 6 — электронный прожектор; 7 — вторично-эмиттирующая мишень; 8 — сигнальная пластина; 9 — к усилителю.

Передающая телевизионная трубка с переносом изображения, односторонней мозаикой и разверткой пучком быстрых электронов (иконоскоп с переносом изображения). Если в рассмотренных ранее трубках эмиттирование фотоэлектронов и накопление заряда выполнялись одной фоточувствительной мозаикой, то в иконоскопе с переносом изображения эти функции разделены между двумя отдельными электродами. Такими электродами являются фотокатод и мишень. Идея и создание этой трубки принадлежит советским ученым С. И. Катаеву, П. В. Шмакову и П. В. Тимофееву. Трубка была создана в 1939 г.

Трубка (рис. 5) работает следующим образом. Изображение проектируется на поверхности полупрозрачного фотокатода. Последний выполняется полупрозрачным для

того, чтобы его можно было возбуждать световыми лучами, падающими со стороны, противоположной направлению испускания фотоэлектронов. Из фотокатода выходят фотоэлектроны, плотность потока которых распределена в соответствии с интенсивностью светового изображения. Таким образом, вблизи поверхности катода образуется электронное изображение, в точности воспроизводящее оптическое изображение. Фотокатоду сообщается отрицательный потенциал относительно коллектора, и так как потенциал мишени, как указывалось выше, поддерживается электронным пучком вблизи потенциала коллектора, то между фотокатодом и мишенью устанавливается электрическое поле, ускоряющее фотоэлектроны к мишени.

Распределение фотоэлектронов в потоке по плотности сохраняется путем использования магнитного фокусирующего поля, создаваемого специальной катушкой. На мишень фотоэлектроны приходят с энергией, соответствующей пройденной разности потенциалов между фотокатодом и мишенью, т. е. порядка нескольких сот электроновольт. Энергию в 1 *эв* электрон приобретает, пройдя между электродами, разность потенциалов которых составляет 1 *в*. Мишень представляет собой металлическую пластину (сигнальная пластина) с нанесенным на нее диэлектрическим веществом с большим коэффициентом вторичной эмиссии σ.

Если в иконоскопе без переноса изображения потенциальный рельеф на мозаике создавался уходом только фотоэлектронов, то в этой трубке каждый фотоэлектрон выбивает из мишени σ вторичных электронов и потенциальный рельеф будет в $\sigma - 1$ раз глубже.

Преобразование потенциального рельефа в сигналы производится путем коммутации электронным пучком из электронного прожектора так же, как и в обычном иконоскопе.

Использование вторичной эмиссии мишени и полного тока с фотокатода позволило повысить чувствительность трубки более чем в 10 раз по сравнению с иконоскопом без переноса изображения.

Ортикон. Телевизионная передающая трубка под названием ортикон появилась почти одновременно с иконоскопом с переносом изображения. К созданию ее привело желание получить насыщенную фотоэмиссию с фотомозаики. Однако это достигается иными путями, чем в иконоскопе с переносом изображения.

В этой передающей трубке также используется принцип накопления заряда, но коммутация производится пучком медленных электронов. Последнее приводит к тому, что коэффициент вторичной эмиссии с мозаики становится меньше единицы, и вторичная эмиссия не используется в работе прибора. Но мы рассмотрим работу ортикона (рис. 6) для того, чтобы потом яснее стал принцип работы телевизионной передающей трубки с переносом изображения, двусторонней мишенью и разверткой изображения пучком медленных электронов (трубка Брауде).

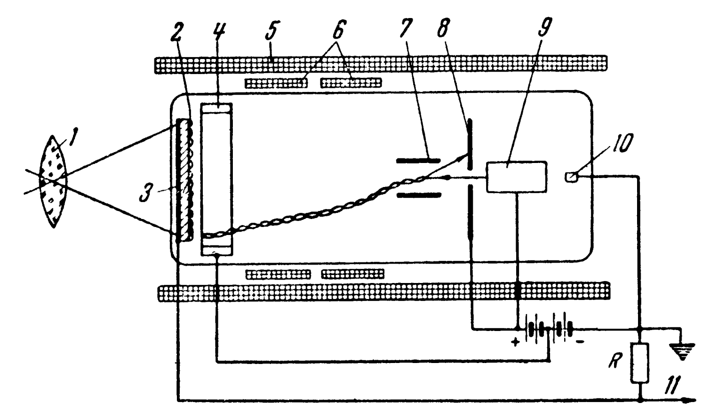


Рис. 6. Схема ортикона.

1 — объектив; *2* — фоточувствительная мозаика; *3* — полупрозрачная сигнальная пластина; *4* — тормозящий электрод; *5* — фокусирующая катушка; *6* — отклоняющая катушка; *7* — отклоняющие пластины; *8* — коллектор, *9* — анод электронного прожектора; *10* — катод электронного прожектора; *11* — к усилителю.

Ортикон содержит те же узлы конструкции, что и иконоскоп, т. е. фотомозаику, электронный прожектор и коллектор. Фотомозаика изготовляется полупрозрачной (как фотокатод в иконоскопе с переносом изображения). Сигнальная пластина делается также прозрачной для световых лучей (обычно это тончайший слой напыленного металла). По мозаике развертывается электронный пучок, однако скорости электронов в этом пучке настолько малы (вследствие действия тормозящего электрода), что коэффициент вторичной электронной эмиссии мозаики меньше единицы. Мозаика начинает заряжаться отрицательно, а ее потенциал понижается до потенциала катода электронного прожектора. Таким образом, в ортиконе устойчивым потенциалом поверхности мозаики является потенциал катода электронного прожектора. Дальнейшего снижения потенциала не

произойдет, так как электронный пучок перестанет достигать мозаики, а, поворачивая вблизи нее, возвратится на расположенный вблизи анода прожектора коллектор. Обратный путь электронного пучка почти совпадает с прямым путем.

Потенциал анода электронного прожектора составляет 200—300 *в*, этот же потенциал подается на коллектор (диск с отверстием для электронного пучка). Достаточно хорошая фокусировка пучка при малой скорости электронов достигается использованием мощной магнитной фокусировки, действующей на всем пути электронов. Отклонение электронного пучка в направлении строк обеспечивает электростатическое, а в направлении кадров магнитное поле. Так как мозаика находится под потенциалом катода прожектора, а коллектор под положительным потенциалом 200 — 300 *в* относительно него же, то между мозаикой и коллектором создается электрическое поле, которое направляет к коллектору все электроны, вылетающие из мозаики. Это приводит к насыщению фотоэмиссионного тока с мозаики, а также предотвращает попадание вторичных электронов из одних мест на другие.

При проектировании на мозаику изображения передаваемого объекта из освещенных элементов мозаики вылетают фотоэлектроны, которые за счет большого ускоряющего поля все попадут на коллектор. С уходом фотоэлектронов потенциал освещенных элементов мозаики повышается. Создается потенциальный рельеф, соответствующий передаваемому изображению, причем потенциал освещенных элементов мозаики выше потенциала катода электронного прожектора, а неосвещенных — равен ему.

При коммутации электронным пучком неосвещенных элементов мозаики пучок не достигает ее поверхности, а, повернув вблизи нее, возвращается на коллектор. Ток в пучке при этом не изменяется. При коммутации же освещенных элементов пучок достигает поверхности мозаики, заряжает ее определенным количеством электронов (достаточным для снижения потенциала до равновесного) и возвращается на коллектор. Ток на коллектор при этом уменьшается. Таким образом, в цепи коллектор — сигнальная пластина при коммутации создаются сигналы, соответствующие передаваемому изображению.

Однако ортикон обладает одним серьезным недостатком. При слишком сильном освещении с освещенного элемента мозаики может уйти так много фотоэлектронов, что

электронный пучок за время коммутации не сможет восполнить числа ушедших электронов, т. е. не понизит потенциал элемента мозаики до равновесного.

С каждым актом коммутации потенциал этого элемента возрастает, достигая в пределе второго устойчивого значения, близкого к потенциалу коллектора. Далее область повышенного потенциала начнет распространяться по всей поверхности мозаики, нарушая работу прибора. Для увеличения предела максимальной освещенности

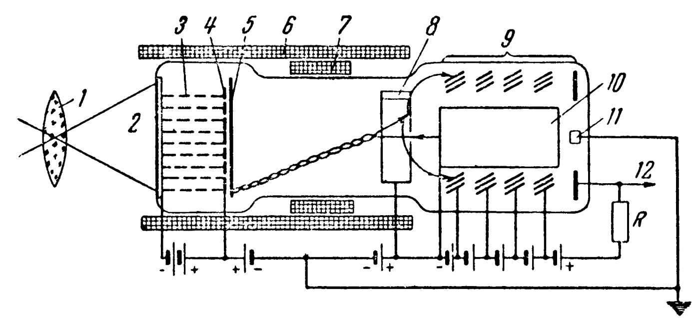


Рис. 7. Схема передающей трубки с переносом изображения и двусторонней мишенью (ортикон с переносом изображения).

1 — объектив; *2* — полупрозрачный фотокатод; *3* — фотоэлектроны; *4* — сетка; *5* — мишень; *6* — фокусирующая катушка; *7* — отклоняющая катушка; *8* — коллектор; *9* — вторично-электронный умножитель; *10* — анод электронного прожектора; *11* — катод электронного прожектора; *12* — к усилителю.

в ортиконе стремятся максимально увеличить ток пучка, доводя его до предела, определяемого расфокусировкой Обычно этот ток составляет 1 — 2 *мка.*

Передающая трубка с переносом изображения, двусторонней мишенью и разверткой пучком медленных электронов (трубка Брауде). В зарубежной литературе эта трубка получила название ортикон с переносом изображения. Она объединила в себе все лучшее, что было достигнуто при создании описанных выше модификаций иконоскопа. Наиболее полно эта трубка может быть названа ортиконом с переносом изображения и с вторично-электронным умножителем или, как еще ее называют, суперортиконом.

На рис. 7 показана схема трубки. На внутренней стороне передней стенки колбы трубки наносится полупрозрачный катод, аналогичный фотокатоду в иконоскопе с переносом изображения. Фотокатод поддерживается под отрицательным потенциалом 200 — 300 *в* относительно катода электронного прожектора. За фотокатодом располагается

двусторонняя вторично-эмиттирующая мишень. Она представляет собой весьма тонкую стеклянную пленку, обладающую слабой проводимостью. За мишенью находится электронный прожектор, создающий коммутирующий луч, и электронный умножитель, расположенный вокруг прожектора. Первым электродом умножителя служит коллектор с отверстием для электронного пучка. Коллектор помещен перед последним анодом прожектора и имеет потенциал этого анода, т. е. +300 *в* относительно катода. Ввиду малой скорости электронного пучка отклонение его осуществляется магнитной катушкой. Перед мишенью со стороны, обращенной к фотокатоду, установлена мелкоструктурная сетка, имеющая 20 — 40 отверстий на 1 *мм* длины. Расстояние между сеткой и мишенью берется 0,02—0,05 *мм*, а потенциал сетки устанавливается в 1—2 *в* относительно катода электронного прожектора.

Трубка работает следующим образом. Объектив проектирует передаваемое изображение на фотокатод. С помощью однородного магнитного и ускоряющего электрического полей электронное изображение с фотокатода переносится на вторично-эмиттирующую мишень. Вторичные электроны с освещенных элементов мишени отбираются сеткой. На этих элементах накапливается положительный заряд и потенциал их повышается. Таким образом, создается положительный потенциальный рельеф, соответствующий распределению освещенности по объекту. Однако в этом случае потенциал освещенного элемента в отличие от ортикона не может превысить значения +1 *в*, так как иначе исчезнет поле, отсасывающее вторичные электроны между сеткой и мишенью.

Ввиду большой емкости мишени и малых емкостей между ее сторонами и сеткой, с одной стороны, и металлизированным покрытием колбы — с другой, созданный потенциальный рельеф вследствие электростатической индукции тотчас переходит на сторону, обращенную к коммутирующему пучку.

Предположим, что коммутирующий пучок попал в освещенный элемент, т. е. в элемент с положительным потенциалом. Электроны пучка со скоростью, соответствующей этому потенциалу, т. е. от 0 до 1 *в*, попадают на этот элемент, так как вторичная эмиссия при этих скоростях электронов практически отсутствует. Потенциал этого элемента принимает значение, равное потенциалу катода электронного прожектора. Этот нулевой потенциал тотчас переда-

ется на сторону мишени, обращенную к фотокатоду. Таким образом, коммутацией электронным пучком одной стороны мишени стирается потенциальный рельеф, созданный на другой стороне мишени. Кроме того, возвратный ток электронного пучка на коллектор оказывается промодулированным в соответствии с распределением света и тени оптического изображения. Действительно, при коммутации неосвещенных элементов мишени электронный пучок не достигает мишени и уходит на коллектор. При коммутации освещенных элементов пучок достигает поверхности, заряжая ее определенным количеством электронов. Это тот же механизм, что и в ортиконе, но там полезный сигнал выделялся на нагрузочном сопротивлении в цепи коллектора с последующим усилением в ламповом усилителе, а здесь сигнал усиливается за счет усиления двусторонней мишенью и вторично-электронного умножителя.

На коллектор попадают электроны, которые не смогли достигнуть мишени; они бомбардируют его с энергией порядка 300 *эв*. Выходящие вторичные электроны бомбардируют следующий электрод умножителя и т. д. Несколько каскадов умножителя оказываются достаточными, чтобы поднять уровень сигнала изображения много выше уровня флюктуационных помех лампового усилителя. Выходной сигнал снимается с нагрузочного сопротивления R, включенного в цепь последнего анода умножителя.

Трубка с переносом изображения и двусторонней мишенью может устойчиво работать при малых освещенностях и обладает чувствительностью, во много раз превосходящей чувствительность ортикона. Однако в тех случаях, где можно обеспечить достаточную освещенность передаваемого объекта (при передаче кинофильмов и студийных сцен), до сих пор еще в качестве основной трубки используется иконоскоп. Это объясняется тем, что при своей простоте он обладает все еще непревзойденной способностью к правильной передаче контрастности изображений (передаваемые им изображения оказываются более художественными). Отечественная промышленность выпускает четыре типа трубок с переносом изображения и двусторонней мишенью (ЛИ13, ЛИ14, ЛИ15 и ЛИ17). Все эти трубки имеют магнитную фокусировку и магнитное отклонение пучка и используются при работе передвижных и театральных установок.

Передающая телевизионная трубка с постоянным изображением (моноскоп). Для передачи какого-либо стандарт-

ного изображения, которое используется при испытании приемных трубок или телевизионных приемников, служит специальная трубка. Конструкция ее очень проста. Трубка состоит из электронного прожектора, мишени и коллектора вторичных электронов. Мишень представляет собой металлическую пластину с высоким значением коэффициента вторичной эмиссии (алюминий, окисленный в воздухе). На мишень графитом или другим материалом, имеющим отличное от пластины значение коэффициента вторичной эмиссии, наносится воспроизводимое изображение. По этой картинке развертывается электронный пучок, а различие тока вторичных электронов на коллектор с отдельных участков мишени создает сигнал изображения.

ЗАПОМИНАЮЩИЕ ТРУБКИ (ТРУБКИ С НАКОПЛЕНИЕМ ЗАРЯДА)

Эти трубки широко используются в современных электронно-счетных машинах, где результаты отдельных операций необходимо записывать, а через некоторое время считывать. Кроме указанного названия, эти трубки также называются трубками памяти.

Принцип работы таких запоминающих трубок очень близок к передающим телевизионным трубкам. Однако в трубках памяти большое внимание уделяется предотвращению попадания вторичных электронов с одного элемента мишени на другие. Это достигается введением дополнительной сетки вблизи поверхности мишени. Рассмотрим два вида запоминающих трубок.

В первой, называемой радихоном, используются один электронный прожектор, односторонняя мишень с барьерной сеткой и коллектор. Мишень представляет собой металлическую пластину, покрытую тонким слоем окиси алюминия, обладающим большим сопротивлением. Запись информации ведется электронным пучком с электронами больших энергий. При этом коэффициент вторичной эмиссии мишени больше единицы, и мишень начинает заряжаться до равновесного потенциала, определяемого потенциалом барьерной сетки. Последняя располагается вблизи поверхности мишени и на нее подается положительный потенциал относительно металлической подложки мишени, под действием которого все вторичные электроны от мишени переходят к коллектору. Ток в электронном пучке выбирается настолько малым, что потенциал коммутируемого элемента не успевает достигать равновесного

потенциала. Записываемая информация подается на тот электрод прожектора, который управляет током в электронном пучке. Следовательно, на разные точки мишени падает электронный пучок, ток в котором меняется в соответствии с записываемой информацией. Элементы, находящиеся под пучком, при большом токе приобретают бо́льший положительный потенциал, чем при малом токе.

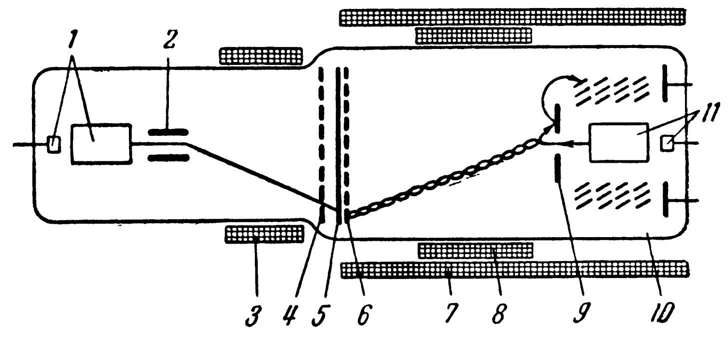


Рис. 8. Схема метрихона.

1 — электронный прожектор записывающего луча; *2* — отклоняющие пластины; *3* — отклоняющая катушка записывающего луча; *4* — сетка; *5* — мишень; *6* — сетка; *7* — фокусирующая катушка; *8* — отклоняющая катушка считывающего луча; *9* — коллектор; *10* — электронный умножитель; *11* — электронный прожектор считывающего луча.

Таким образом, запоминаемая информация записывается электронным пучком в виде потенциального рельефа мишени.

Для считывания потенциал барьерной сетки устанавливается ниже потенциала подложки мишени, следовательно, равновесным потенциалом мишени становится потенциал сетки. При этом ток в электронном пучке берется постоянным и достаточно большим, чтобы потенциал каждого элемента мишени мог достигнуть равновесного. Изменение тока от мишени при коммутации пропорционально разности зарядов на коммутируемых элементах. Это и есть считываемый сигнал.

Радихон является трубкой короткой памяти, так как записанную на ней информацию можно читать лишь 1 раз. Однако существуют запоминающие трубки, где записанную информацию можно читать неоднократно. Рассмотрим работу трубки такого типа, называемую метрихоном (рис. 8).

В метрихоне используются два прожектора и двусторонняя мишень. Последняя состоит из тонкой пленки слег-

ка проводящего стекла (как в ортиконе с переносом изображения), припаянной к мелкоструктурной металлической сетке. Эта сторона мишени обращена к считывающему прожектору с медленными электронами в пучке. Другая сторона мишени обращена к записывающему прожектору с быстрыми электронами в электронном пучке. Перед поверхностью этой стороны мишени устанавливается вторая мелкоструктурная металлическая сетка.

Так как коэффициент вторичной электронной эмиссии мишени с записывающей стороны больше единицы (большие скорости бомбардирующих электронов), то равновесным потенциалом коммутируемых записывающим лучом элементов является потенциал сетки. Подавая на сетку различные потенциалы в соответствии с записываемой информацией, на поверхности мишени возникает потенциальный рельеф, соответствующий этой информации, который вследствие электростатической индукции тотчас переходит на считываемую сторону мишени.

Потенциалы записывающей сетки обычно выбирают такими, чтобы отрицательный потенциал элементов мишени можно было доводить с помощью электронного пучка до 1 — 5 *в*. При считывании отрицательный потенциал записанных элементов не только предотвращает попадание считывающего пучка на сами элементы, но и препятствует попаданию некоторых электронов из считывающего пучка на проволочную сетку. Количество электронов, попадающих на сетку, зависит от записанных отрицательных потенциалов элементов, расположенных в непосредственной близости от сетки.

Итак, число электронов, возвращающихся на коллектор, меняется при коммутировании элементов мишени в соответствии с записанными потенциалами на них. Этот обратный ток усиливается в электронном умножителе (так же, как в ортиконе с переносом изображения), выходной ток которого образует считываемый сигнал.

Из рассмотренного механизма считывания ясно, что процесс считывания не влияет на распределение зарядов, накопленных на мишени. Однажды записанная информация может быть считана столько раз, сколько потребуется, без ее нарушения.

Стирание старой информации происходит автоматически при записи новой, так как записываемый потенциал равен потенциалу записывающей сетки и не зависит от ранее записанного потенциала.

Рассмотренные трубки, кроме использования в счетно-решающих системах, могут найти также применение и в телевидении, когда возникает необходимость задержать последовательность передачи картин на любой интервал времени, от одного до нескольких периодов кадровой развертки.

УСИЛИТЕЛЬНЫЕ ЛАМПЫ С ВТОРИЧНОЙ ЭМИССИЕЙ, КОНТАКТНЫЕ ЛАМПЫ И ЛАМПОВЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ

Вторичная электронная эмиссия может быть использована и в обычных приемно-усилительных лампах. Рассмотрим работу такой лампы на примере цилиндрической конструкции (рис. 9). В изображенном триоде анодом служит сетка, расположенная перед электродом, покрытым веществом с высоким значением коэффициента вторичной эмиссии σ. Этот электрод обычно называется динодом.

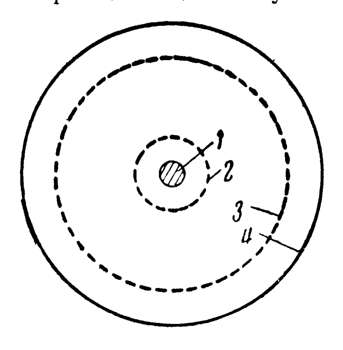


Рис. 9. Схема цилиндрической конструкции усилительной лампы с вторичной эмиссией.

1 — катод; *2* — управляющая сетка; *3* — сетка-анод; *4* — динод.

Электронный поток с катода проходит через управляющую сетку и направляется к сетчатому аноду. Вследствие большой проницаемости последнего почти все электроны проходят его и бомбардируют динод. Анод поддерживается под некоторым положительным потенциалом по отношению к диноду, так что все вторичные электроны с динода идут к аноду. Часть электронов перехватывается сетчатым анодом, а часть проходит в пространство анод — катод, где тормозится и возвращается на анод. Положим, это в лампе без вторично-эмиттирующего динода ток анода был $i_а$. В лампе же с динодом происходит умножение тока $i_а$ в σ раз, так что ток анода в этом случае становится $i'_а = i_а\sigma$.

Увеличение тока анода равносильно увеличению крутизны характеристики лампы (так как то же изменение напряжения на управляющей сетке вызовет большее изменение анодного тока), которая может повыситься в несколько раз при использовании веществ со значением σ в несколько единиц.

В обычных лампах для повышения крутизны характеристики приходится уменьшать расстояние между катодом и управляющей сеткой, что приводит к увеличению входной емкости. В электронных лампах с использованием вторичной эмиссии увеличение крутизны характеристики не влечет за собой увеличения входной емкости лампы.

Неудобство указанной цилиндрической конструкции заключается не только в том, что часть электронов с катода перехватывается сетчатым анодом, но также в том, что на поверхность динода с течением времени напыляются

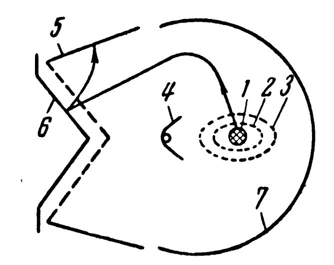


Рис. 10. Схема тетрода с вторичной эмиссией.
1 — катод; 2 — управляющая сетка; 3 — экранирующая сетка; 4 — экран; 5 — анод; 6 — динод; 7 — формирующий поле электрод.

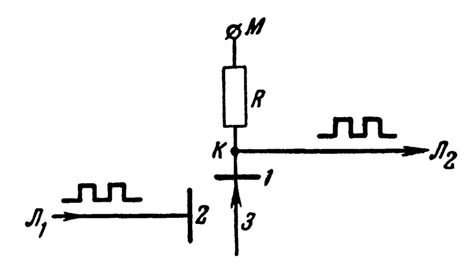


Рис. 11. Схема простейшей контактной лампы с односторонним контактом.
1 — динод; 2 — анод; 3 — электронный пучок

продукты испарения с катода (оксидного), что приводит к уменьшению коэффициента вторичной эмиссии а следовательно, и крутизны характеристики.

Свободной от этих недостатков является конструкция лампы, изображенная на рис. 10. В этом тетроде динод предохранен от попадания продуктов испарения с катода специальным экраном, который, однако, не мешает движению электронов с катода на динод. Электроны с катода на анод направляются по силовым линиям поля, изогнутым благодаря наличию дополнительного электрода специальной формы и имеющего потенциал катода.

Большое значение крутизны характеристики и отношения крутизны к сумме входной и выходной емкостей ламп с вторичной эмиссией позволяет использовать их в широкополосных усилителях высокой частоты.

Большое значение получили электронные лампы с использованием вторичной электронной эмиссии при замене механического контакта электронным.

Схема простейшей электронной контактной лампы, при-

ведена на рис. 11. Рассмотрим зависимость тока в цепи динода от потенциала динода $U_д$. На анод, являющийся коллектором вторичных электронов с динода, приложен потенциал $U_а$. При малых $U_д$, где $\sigma<1$, ток приходящих электронов больше тока вторичных электронов, уходящих в анод, так что электроны в цепи динода движутся от K к M. С увеличением потенциала динода $U_д$ коэффициент вторичной эмиссии σ становится больше единицы и направление тока меняется на противоположное. С дальнейшим увеличением $U_д$ ток через сопротивление R от точки M к K растет до тех пор, пока потенциал динода достигнет величины потенциала анода ($U_д=U_а$). При этом электрическое поле между динодом и анодом становится равным нулю и направление тока резко меняется на противоположное.

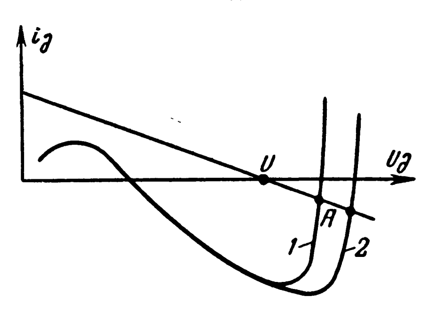


Рис. 12. Динатронная характеристика.

Кривая зависимости тока динода $i_д$ от потенциала $U_д$, называемая динатронной характеристикой, представлена на рис. 12. Там же отложена прямая, соответствующая омическому закону падения напряжения на сопротивлении R при протекании тока динода. Если потенциал точки M поддерживать постоянным, то потенциал динода определится точкой A пересечения динатронной кривой и нагрузочной прямой.

Подбирая величину R к данной геометрии лампы, можно добиться выполнения условия равенства потенциала динода потенциалу анода. При изменении потенциала анода меняется положение области резкого изменения направления тока динода (кривая *2*). Если спад динатронной характеристики достаточно крут (т. е. значение σ велико) и достаточно велико нагрузочное сопротивление, то потенциал динода следует за изменением потенциала анода, оставаясь равным ему. Это означает, что между анодом и динодом установлен контакт. С включением и выключением электронного луча (рис. 11) с катода почти безынерционно устанавливается контакт между анодом и динодом,

и входной сигнал с линии $Л_1$ передается в цепь динода на линию $Л_2$.

Описанная конструкция позволяет устанавливать только односторонний контакт с анода на динод.

На рис. 13 приведена схема лампы, позволяющая устанавливать двусторонний контакт, где каждый электрод может действовать либо как анод, либо как динод. Принцип действия лампы тот же, что и у лампы с односторонним контактом.

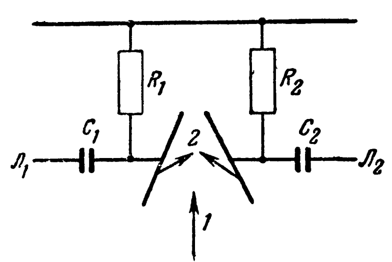


Рис. 13. Контактная лампа с двусторонним контактом.

1 — электронный пучок; *2* — вторичные электроны;

Рис. 14. Схема селекторной лампы.

*д*₁ . . *д*₁₂ — диноды; *1* — анод; *2* — экранирующая сетка, *3* — отклоняющие пластины; *4* — фокусирующие электроды; *5* — катод; *6* — электронный пучок; *7* — вторичные электроны.

Рассмотрим теперь работу лампового переключателя. На рис. 14 приведена схема так называемой селекторной лампы, которая может переключать n цепей на одну цепь. В лампе установлены n динодов и анод, разделенный n щелями. Диноды установлены прямо за щелями. Плоский электронный луч с катода формируется фокусирующими электродами и отклоняется в ту или иную щель отклоняющими пластинами. При этом устанавливается электронный контакт между соответствующими динодом и анодом, и электрические сигналы с динода передаются на цепь анода.

Как видно из изложенного выше, в настоящее время вторичная электронная эмиссия нашла большое применение в электронных лампах. Дальнейшее развитие этого класса приборов связано не только с улучшением их конструкции, но также с углублением наших знаний относительно механизма явления вторичной электронной эмиссии и отысканием новых более эффективных вторичных эмиттеров.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 75 коп.